

# BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



#2  
JWA  
20.10.00

1ce79 U.S. PTO  
10/074655  
02/13/02

## Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

**Aktenzeichen:** 101 07 421.2

**Anmeldetag:** 14. Februar 2001

**Anmelder/Inhaber:** Siemens Aktiengesellschaft, München/DE

**Bezeichnung:** Verfahren zum Bestimmen von Verzerrungen in einer  
Abbildung und Kalibriergegenstand dazu

**IPC:** G 02 B, G 01 R

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 14. Mai 2001  
Deutsches Patent- und Markenamt  
Der Präsident  
Im Auftrag

CERTIFIED COPY OF

Wellmer

## Beschreibung

Verfahren zum Bestimmen von Verzerrungen in einer Abbildung und Kalibriergegenstand dazu

5

Bei allen Arten von Abbildungsverfahren, wie z.B. Abbildungsverfahren, die unter Anwendung von Lichtoptik, Röntgenstrahlen, Ultraschall, Elektronenstrahlen, Magnetresonanz etc., Abbildungen von Bereichen eines Objekts erzeugen, ist die Abbildungstreue des gewonnenen Bildes im Vergleich zum untersuchten Objekt ein entscheidendes Qualitätskriterium. In der Regel ist bei allen in der Realität existierenden Abbildungssystemen die Abbildungstreue nicht ideal, vielmehr treten in Abhängigkeit vom dargestellten Bildbereich und der Qualität des betrachteten Abbildungssystems Verzerrungen in der Abbildung des Objekts auf. So sind z.B. im Bereich der Magnetresonanztomographie (MRT) die Ursachen für auftretende Verzerrungen durch die ortsabhängigen Abweichungen des magnetischen Grundfelds von einem Idealwert  $B_0$  und die ebenfalls ortsabhängigen Nichtlinearitäten des Gradientensystems gegeben. Typischerweise werden die beobachteten Verzerrungen der Abbildung zum Rand des dargestellten Bildbereichs größer. Dabei lässt sich die Größe der Verzerrung oder Verzeichnung in der Regel durch eine Abhängigkeit vom Abstand  $r$  zum Bildzentrum beschreiben, die nicht linear sondern von höherer Ordnung ist. Die Verzerrung wird zum Rand hin überproportional größer. So lassen sich z.B. in der MR die Abweichungen durch Kugelflächenfunktionen höherer Ordnung angeben, die bei der Betrachtung von Nichtlinearitäten des Gradientensystems hauptsächlich durch Terme mit 3., 5. und 7. Ordnung beschrieben werden (d.h. proportional zu  $r^3$ ,  $r^5$  und  $r^7$ ). Die Inhomogenitäten eines Magneten mit perfektem Shim (d.h. optimal justiert) sind durch Terme der Ordnung 8 und höher gegeben.

Die Charakterisierung des betrachteten Abbildungsverfahrens umfasst üblicherweise die Beschreibung der realisierten Abbildungstreue in Form einer quantitativen Aussage der auftre-

tenden Verzeichnungen. Dabei werden in der Regel die Abweichungen der Bildpunkte vom Idealwert in Abhängigkeit vom betrachteten Bildbereich in absoluten bzw. relativen Werten angegeben. Die Notwendigkeit einer Charakterisierung ist insbesondere dann wichtig, wenn das Abbildungsverfahren z.B. zur Vermessung von Objekten (z.B. auf der Erdoberfläche), der Gestaltung von Objekten (z.B. Lithographie) oder in der medizinischen Diagnostik (z.B. Computertomographie, Röntgendiagnostik, Magnetresonanztomographie) angewendet wird. In vielen Fällen ist die Bestimmung der Abbildungstreue zwar mit guter Genauigkeit möglich, aber das zugrundeliegende Messverfahren ist aufwendig und benötigt oftmals speziell angefertigte Messobjekte, die unhandlich und teuer sind. In diesen Fällen ist dann eine Überprüfung in der Regel nur in einer speziellen (Entwicklungs-)Umgebung möglich, nicht aber für einen beliebigen Anwender des Abbildungsverfahrens im Rahmen von z.B. einer Qualitäts- oder Konstanzprüfung einsetzbar.

Beispielhaft sind im Folgenden drei heute verwendete Verfahren zur Bestimmung der Abbildungstreue kurz erläutert.

Bei der "direkten" Messung der Verzeichnung wird ein bekanntes Messobjekt mit möglichst einfachen geometrischen Strukturen abgebildet und die Verzeichnung der betrachteten Bildpunkte direkt gemessen. Dazu ist die Bestimmung der Koordinaten der Bildpunkte und die exakte Rekonstruktion der "idealen" Koordinaten der Objektpunkte, die sich für den Fall einer abbildungstreuen Darstellung ergeben würden, notwendig. Voraussetzung dafür ist allerdings, dass nicht nur die Abmessungen des zugrundeliegenden Messobjektes genau bekannt sein müssen, sondern auch die Positionierung und Ausrichtung des Messobjektes im Abbildungsvolumen. Dies ist insbesondere dann, wenn das Abbildungsvolumen keine a priori vorgegebenen festen Referenzpunkte hat, schwierig und mit einer entsprechend großen Ungenauigkeit behaftet. In der Regel ist das bei allen 3-dimensionalen Abbildungsverfahren der Fall.

Bei der Abbildung einer gleichförmigen Gitterstruktur wird ein 2- bzw. 3-dimensionalen Messobjektes mit einer regelmäßigen, fest vorgegebenen Anordnung von Messpunkten in Form eines Gitters verwendet. Dies erlaubt die Bestimmung der Abbildungstreue über einen größeren Bildbereich. Die Festlegung von Referenzpunkten zur Konstruktion der verzeichnungsfreien Bildpunkte in kartesischen Koordinaten kann implizit durch die Benutzung einzelner Objektpunkte erfolgen. Allerdings bleibt auch hier das Problem der Ausrichtung des Objekts in Richtung der Bildachsen, da schon eine leichte Verkipfung des Objekts direkt die Genauigkeit bei der Bestimmung der Verzeichnung mindert. Ein entscheidender Nachteil dieses Verfahrens ist weiterhin, dass die Anfertigung entsprechend genauer Messobjekte mit vielen Messpunkten, beispielsweise ein Würfel mit einer Kantenlänge 30 cm und einem dreidimensionalen Gitterabstand von 20 mm, sehr aufwendig und teuer ist. Soll ein solches Phantom einen möglichst großen Bereich des Abbildungsvolumens abdecken, so ergibt sich darüber hinaus ein hohes Gewicht des Phantoms und damit auch eine schwierige Handhabung für den Anwender.

Schließlich haben verschiedene Organisationen, wie beispielsweise die NEMA oder das American College of Radiology (ACR), Messvorschriften etabliert, mit denen die Bildqualität bei der Magnetresonanztomographie bestimmt werden soll. Da insbesondere das ACR in den USA die klinischen Anwender der MR in einem ausgedehnten Programm akkreditiert, wurde mit den verwendeten Messverfahren eine Art Quasi-Standard geschaffen. Für die Beurteilung der Abbildungstreue wird hier ein einfaches Verfahren unter Benutzung eines kreis- oder kugelförmigen Phantoms verwendet. Die Bestimmung der Verzeichnung auf dem Umfang des abgebildeten Kreises erfolgt durch wiederholte Abstandsmessung entlang des Durchmessers von einem Punkt zum entgegengesetzt liegenden Punktes. Die Verzeichnung in radialer Richtung ergibt sich dann durch Vergleich mit dem bekannten Durchmesser des Messobjekts. Der Vorteil dieser Methode ist, dass in der Regel an jeder MR-Anlage bereits ein kugel-

- förmiges Phantom vom Hersteller mitgeliefert wird und die Messung und Auswertung einfach durchzuführen sind. Im Falle der kostenpflichtigen ACR-Akkreditierung wird zwar ein spezielles Phantom für die Messungen verwendet, für die Auswertung aber ebenfalls nur die Abstandsmessung der Aussenkanten verwendet. Ein Nachteil bei der Verwendung der Standardphantome (z. B. 170 mm und 240 mm Durchmesser) und des ACR-Phantoms ist, dass diese deutlich kleiner als der mögliche Abbildungsbereich von typisch 500 mm Field of View (FOV) sind. Die Bestimmung der Abbildungstreue ist damit also nur in einem sehr eingeschränkten Bildbereich möglich. Die Verwendung von größeren Phantomen ist zwar prinzipiell möglich, doch sind diese herstellungsbedingt teuer und ab einer Größe von 300 mm Durchmesser auch sehr schwer und damit schlecht zu handhaben. Ein weiterer Nachteil bei diesem Verfahren ist, dass die Verzeichnung messbedingt nur entlang der radialen Richtung bei gleichzeitiger Betrachtung von zwei verzerrten Bildpunkten gemessen werden kann. Deshalb kann nur der Mittelwert aus den Verzerrungen der beiden Bildpunkte und nicht die eines bestimmten Punktes gemessen werden. Darüber hinaus wird nur die radiale Komponente der Verzeichnung der Bildpunkte nicht aber die komplette Verschiebung der Punkte mit Betrag und Richtung, d.h. vektoriell bestimmt.
- Der Erfindung liegt nun die Aufgabe zugrunde, ein einfaches Verfahren zum Bestimmen von Verzerrungen in einer Abbildung sowie einen Kalibriergegenstand dazu anzugeben.

- Die erstgenannte Aufgabe wird gelöst durch ein Verfahren zum Bestimmen von Verzerrungen in einer Abbildung, wobei die Abbildung mit einem Abbildungssystem von einem in einem Abbildungsvolumen des Abbildungssystems angeordneten Gegenstand erzeugt werden kann, wobei ein erster Bereich des Abbildungsvolumens in der Abbildung unverzerrt und ein zweiter Bereich des Abbildungsvolumens in der Abbildung verzerrt dargestellt wird, mit den Schritten:

- Mit dem Abbildungssystem wird eine Abbildung von mindestens drei Markierungen, die eine bekannte räumliche Lage zueinander aufweisen, erzeugt, wobei eine erste und eine zweite der drei Markierungen in dem ersten Bereich angeordnet sind und wobei eine dritte der drei Markierungen in dem zweiten Bereich angeordnet ist,
- Bestimmen der Lage der abgebildeten Markierungen in der Abbildung,
- Bestimmen einer idealen Lage der dritten Markierung in der Abbildung aus ihrer bekannten räumlichen Anordnung bezüglich der ersten und zweiten Markierung und
- Bestimmen eines Lageunterschieds der abgebildeten dritten Markierung von der ihrer idealen Lage, wobei der Lageunterschied ein Maß für die Verzerrung darstellt.

Bei dem erfindungsgemäßen Verfahrens wird eine Eigenschaft eines Abbildungssystems, nämlich dass in einem hinreichend großen Abbildungsbereich keine bzw. nur vernachlässigbar kleine Verzeichnungen auftreten, ausgenutzt. Diese Tatsache wird nun dazu verwendet, um ausgehend von zwei bekannten Punkten, die abbildungstreu im Bild wiedergegeben sind, einen Bildpunkt zu konstruieren, der im Bild aufgrund von Verzeichnungen tatsächlich an einer anderen Stellen abgebildet wurde.

Das Verfahren ist sowohl auf zwei- wie auch auf dreidimensionale Abbildungsmethoden anwendbar. Eine exakte Justierung des verwendeten Messobjekts (Kalibriergegenstands) im Abbildungsvolumen ist nicht notwendig. Das Messobjekt braucht nicht das ganze Abbildungsvolumen auszufüllen, um in allen Bereichen die Verzeichnung bestimmen zu können. Die Bestimmung der Verzeichnung am Ort eines Messpunktes kann bereits durch zwei einfache Abstandsmessungen erfolgen. Die Verzeichnung, d. h. die Verschiebung der Bildpunkte kann dann vektoriell mit Betrag und Raumrichtung angegeben werden. Die Messgenauigkeit des Verfahrens hängt im wesentlichen nur vom Messfehler bei den Abstandsmessungen und der Auflösung des Abbildungsverfahrens ab.

Die gewonnenen Verzeichnungsdaten können auch für eine Korrektur von Bildern eingesetzt werden, beispielsweise durch Implementierung einer Verzeichnungskorrektur im Abbildungsverfahren.

Das Verfahren ist auf alle Arten von Abbildungssystemen anwendbar, insbesondere auf Abbildungssystemen, die nach den folgenden Abbildungsverfahren arbeiten:

10

Abbildung durch elektromagnetische Strahlung:

- Licht: alle Arten der lichtoptischen Abbildung wie z.B. Fotografie und davon abgeleitete Anwendungen wie z.B. Holographie.
- 15 - Infrarot: wie z.B. Wärmebildgebung, Nachtsichtverfahren
- UV-Strahlung: wie z.B. Photolithographie
- Röntgenstrahlung: wie z.B. in der medizinischen Diagnostik
- magnetische Felder: wie z.B. in der Magnetresonanztomographie;

20

Abbildung durch Schallwellen:

- Sonographie: z.B. medizinische Diagnostik;

Abbildung durch Korpuskularstrahlung:

25

- z.B. durch Elektronenstrahlung, wie alle Arten der Elektronenmikroskopie, Elektronenlithographie, Röhrenbildschirme, CRTs (Cathode Ray Tubes) wie Fernsehbildschirme oder Computermonitore;

30

alle anderen Abbildungsgeräte: wie z.B. LCD-Displays.

Das Verfahren ist auch für beliebige Anwendungsgebiete einsetzbar, wie z.B. bei allen Arten der Fotografie, in der Qualitätsprüfung, insbesondere auch für die regelmäßige (Konstanz-)Überprüfung durch den Anwender, bei allen Arten von Vermessungsverfahren, in der Diagnostik, insbesondere auch in

35

der Medizin, und bei der Bestimmung der Güte von Bildschir-  
men.

Die zweitgenannte Aufgabe wird gelöst durch einen Kalibrier-  
5 gegenstand zur Durchführung des Verfahrens mit einer Halte-  
rung für drei Markierungen, die eine abbildbare Substanz ent-  
halten.

Das Messobjekt zur Qualitätsprüfung des Abbildungssystems  
10 (Kalibriergegenstand) ist einfach aufgebaut und daher kosten-  
günstig herzustellen. Die drei Markierungen können z.B. auch  
implizit durch die Ecken eines rechteckigen, abbildbaren  
Messobjekts gegeben sein. Im Fall von Magnetresonanz-Abbil-  
dungssystemen ist sogar eine Standard-Phantomflasche als Ka-  
15 libriergegenstand verwendbar, die durch ihren Längsschnitt  
charakterisiert ist.

Eine einfache Realisierung des Messobjekts ist ein Stab mit  
drei Bohrungen, worin die Markierungen angeordnet sind. Das  
20 Messobjekt kann auch beliebig erweitert werden, um jeden ge-  
wünschten Bildbereich mit einer Messung abzudecken. Dabei  
wird sich die gewählte Skalierung typischerweise durch die  
Abwägung der Herstellungs- bzw. Beschaffungskosten des Mess-  
objekts im Vergleich zum Aufwand bei der Durchführung der  
25 Messungen, die zur Bestimmung der Verzerrung in einem größe-  
ren Bildbereich notwendig sind, ergeben.

Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen ergeben sich aus den Un-  
teransprüchen und aus der Beschreibung von Ausführungsbei-  
30 spielen der Erfindung.

Im folgenden wird die Erfindung durch die Beschreibung von  
Ausführungsbeispielen anhand von sieben Figuren erläutert. Es  
zeigen:

35

FIG 1 in einer Draufsicht ein Kalibriergegenstand zum  
Bestimmen von Verzerrungen in Abbildungen,



FIG 2 in einer schematischen Darstellung die Bestimmung von Verzeichnungen nach einer ersten Verfahrensvariante,

5

FIG 3 in einer schematischen Darstellung die Bestimmung von Verzeichnungen nach einer zweiten Verfahrensvariante,

10

FIG 4 in einer schematischen Darstellung die Bestimmung von Verzeichnungen nach einer dritten Verfahrensvariante,

FIG 5 in einer Seitenansicht eine schematische Darstellung zu Problematik der Abbildung einer gekrümmten Abbildungsschicht,

15

FIG 6 in einer Draufsicht ein weiterer Kalibriergegenstand zum Erkennen von gekrümmten Abbildungsschichten und

20

FIG 7 in einer Seitenansicht eine vergrößerte Darstellung eines Teils des weiteren Kalibriergegenstands.

Der in FIG 1 in einer Draufsicht dargestellte Kalibriergegenstand 2 besteht aus einem dünnen, quaderförmigen Tragkörper 4, an dessen einer Längsseite drei Markierungen A, B, C mit bekannter Lage zueinander befestigt sind. Die Markierungen A und C sind in einem Abstand  $a$  zueinander angeordnet.

Die Markierungen A, B, C besitzen ein kreiszylindrisches Volumen, welches eine mit einem Abbildungssystem abbildbare Substanz enthält. Die Längsachsen der kreiszylindrischen Volumen sind senkrecht zur sichtbaren Quaderoberfläche ausgerichtet. Beispielsweise kann zur Überprüfung der Abbildungsverzerrungen bei einem diagnostischen Magnetresonanzgerät als Tragkörper 4 ein Plexiglasstab verwendet werden, worin mit

30

35

Wasser gefüllte Bohrungen als Markierungen A, B, C eingebracht sind.

Anhand von FIG 2 werden die grundsätzlichen Zusammenhänge des Verfahrens zur Bestimmung von Verzerrungen, die vom Abbildungssystem in einer Abbildung 6 verursacht werden, erläutert. Dazu wird der Kalibriergegenstand 2 in einem Abbildungsvolumen des Abbildungssystems platziert. Dabei wird eine Abbildungseigenschaft des Abbildungssystems ausgenutzt, nämlich, dass ein erster Bereich 8 des Abbildungsvolumens in der Abbildung 6 unverzerrt dargestellt wird, wogegen ein zweiter Bereich 10 des Abbildungsvolumens in der Abbildung 6 verzerrt dargestellt wird. Unverzerrt soll hier heißen, dass keine oder nur eine vernachlässigbar kleine Verzerrung oder Verzeichnung auftritt. Die Platzierung des Kalibriergegenstandes im Abbildungsvolumen muss derart erfolgen, dass zwei Markierungen, hier A und B im ersten Bereich 8 liegen und die dritte Markierung C an einer Stelle zu liegen kommt, an der die Verzeichnung gemessen werden soll, also im zweiten Bereich 10.

Nachdem eine Abbildung 6 des Kalibriergegenstands 2 mit dem Abbildungssystem erstellt wurde, beispielsweise eine Magnetresonanzmessung mit einer geeigneten Bildgebungssequenz durchgeführt wurde, erfolgt eine Auswertung der abgebildeten Markierungen A, B, C. Die Darstellung der Abbildung 6 erfolgt beispielsweise in Form einer zweidimensionalen Matrix bestehend aus einzelnen Bildelementen (Pixeln). Zunächst werden die Koordinaten der abgebildeten Markierungen A, B, C bestimmt. Dies kann durch eine systematische Überprüfung aller Pixel der Abbildung erfolgen, wobei ein Pixel dann zu einem Bildpunkt von A, B, C gehört, wenn sein Helligkeitswert einen charakteristischen Schwellwert übersteigt. Anschließend erfolgt eine Identifizierung der Bildpunkte und Zuordnung zu den Markierungen A, B, C durch Vergleich der schon bestimmten Koordinaten. Die Bildpunkte von A und B besitzen im Vergleich zum Bildpunkt von C einen kleineren Abstand zu Abbildungs-

zentrum. Aufgrund der Verzeichnung durch das Abbildungssystem verschiebt sich jedoch die Abbildung von C nach C'. Es wird eine Gerade 12 konstruiert, die durch die Abbildung von A und B geht. Die Konstruktion von Geraden aus zwei gegebenen Geradenpunkten ist eine Standardfunktionalität bei entsprechenden Auswerteprogrammen, wie beispielsweise CAD-Programmen, CAD steht für Computer Aided Design. Da der Abstand a der Markierungen A und C bekannt ist, können die Koordinaten des idealen oder verzeichnungsfreien Abbildungspunkts von C bestimmt werden. Schließlich wird noch der Abstand des idealen Abbildungspunkts vom tatsächlichen Abbildungspunkt C' nach Betrag z und Winkel  $\alpha$  zur Geraden 12 bestimmt. Die Werte z und  $\alpha$  und die Koordinaten des idealen Bildpunkts werden protokolliert. Die protokollierten Werte werden dann als Ergebnis für einen Benutzer an einem Bildschirm ausgegeben. Das heißt, dass die Verzeichnung am Ort C durch einen Richtungsvektor mit dem Betrag z und dem Winkel  $\alpha$  angegeben wird.

Der Richtungsvektor der Verzeichnung mit dem Betrag z und dem Winkel  $\alpha$  kann auch über eine Triangulation bestimmt werden, wie nachfolgend anhand von FIG 3 und 4 erläutert wird.

Entsprechend wie in FIG 3 dargestellt ist, wird durch den Bildpunkt der Markierung A eine Hilfsgerade 14 konstruiert, die besonders vorteilhaft senkrecht zur Verbindungsgeraden 12 verläuft. Auf der Hilfsgerade 14 werden zwei beliebige Punkte D und E gewählt. Vorteilhaft ist es, die beiden Punkte D, E möglichst am Rand der Abbildung 6 anzuordnen, damit ein möglicher Messfehler minimal wird. Der Abstand zwischen den Punkten D und E ist in FIG 3 mit  $c_{DE}$  bezeichnet. Der Abstand zwischen den Punkten A und E wird bestimmt, er ist in FIG 3 mit  $c_{AE}$  bezeichnet. Dann werden von den Punkten D und E aus jeweils die Abstände  $b_i$  bzw.  $a_i$  zum Bildpunkt C' bestimmt. Die Anwendung der ebenen Trigonometrie, insbesondere des Kosinussatzes ermöglicht die Berechnung der Verschiebung des Bildpunktes C' mit Betrag z und Richtungswinkel  $\alpha$ .

Bei der in FIG 4 dargestellten Variante bilden beim Kalibriergegenstand die Markierungen A, B und C ein Dreieck, das besonders vorteilhaft bei A einen rechten Winkel bildet.

5 Durch die Bildpunkte A und B wird eine Hilfsgerade 16 konstruiert, mit besonders vorteilhafter Ausdehnung bis zum Rand der Abbildung 6. Des weiteren wird durch die Abbildung der Markierung A entsprechend dem vom Dreieck vorgegebenen Winkel die Gerade 12 konstruiert, worauf mit Abstand  $a$  die ideal abgebildete Markierung C liegen würde. Auf der Hilfsgerade 16  
10 werden zwei beliebige Punkte D und E gewählt. Besonders vorteilhaft ist, die beiden Punkte möglichst am Rand der Abbildung anzuordnen, damit auch hier ein möglicher Messfehler minimal wird. Der Abstand  $c_{DE}$  zwischen den Punkten D und E und der Abstand  $c_{AE}$  zwischen den Punkten A und E wird bestimmt.  
15 Von den Punkten D und E aus werden die beiden Abstände  $b_i$  bzw.  $a_i$  zum Bildpunkt C' bestimmt. Die Anwendung der ebenen Trigonometrie, insbesondere des Kosinussatzes ermöglicht auch hier die Berechnung der Verschiebung des Bildpunktes C' mit Betrag  $z$  und Richtungswinkel  $\alpha$ .

20

Das Verfahren lässt sich leicht auf eine 3-dimensionale Abbildung erweitern, bei der das 2-dimensionale Bild einer beliebig im Raum orientierten Schicht (Tomogramm) erzeugt wird. Dann muss berücksichtigt werden, dass die Markierungen A, B, C im Kalibriergegenstand eine ausreichende Ausdehnung  $d$  in  
25 senkrechter Richtung zur abgebildeten Schicht besitzen und in der Schicht liegen, die tatsächlich abgebildet wird. Eine gekrümmte Bildschicht, die in FIG 5 in einer Seitenansicht durch zwei gestrichelte Linien 18 dargestellt ist, darf nicht  
30 außerhalb des Kalibrierkörpers 2 und der Markierungen A, B, C verlaufen. Bei dem in FIG 5 dargestellten Verlauf der gekrümmten Abbildungsschicht würde die Markierung C in der Abbildung nicht dargestellt. Die Dicke  $d$  des Kalibriergegenstands 2 muss in diesem Fall entsprechend vergrößert sein, damit  
35 mit alle Markierungen A, B, C abgebildet werden.

Um ein Maß für den Abbildungsfehler bei einer fehlerhaft gekrümmten Abbildungsschicht zu erhalten, wird eine im Vergleich der Markierung C etwas anders gestaltete Markierung C\* verwendet. FIG 6 zeigt in einer Draufsicht einen Kalibriergegenstand 2\* mit der modifizierten Markierung C\*.

FIG 7 zeigt in einer vergrößerten Ansicht die Markierung nach FIG 6 in einer Seitenansicht. Die modifizierte Markierung C\* umfasst zwei schräg zur abzubildenden Schicht symmetrisch verlaufende, sich kreuzende zylindrische Stäbchen 20, die eine abbildbare Substanz enthalten. Der Winkel zwischen den Stäbchen 20 ist mit  $\Phi$  bezeichnet. Bei der Abbildung des Kalibriergegenstands 2\* wird das Bild von C\* nur bei einer ebenen, krümmungsfreien Schicht durch einen einzigen Bildpunkt C' dargestellt. Bei einer Verzerrung senkrecht zur Schicht (Schichtkrümmung, vgl. FIG 5) werden dagegen zwei Bildpunkte C'' und C''' von C\* abgebildet, die durch den Schnitt der gekrümmten Bildebene mit den beiden Stäbchen 20 definiert sind.

Die Verzeichnung x am Ort der Markierung C\* senkrecht zur Bildgebungsschicht ist direkt durch den Abstand zwischen den beiden Bildpunkten C'' und C''' und dem Winkel  $\Phi$  gegeben.

Die Richtung, d.h. die Polarität, der Verzeichnung kann zusätzlich durch ein drittes Stäbchen 22, das im Kreuzungspunkt der beiden Stäbchen 20 endet, bestimmt werden. Je nachdem ob das dritte Stäbchen 22 im Bild zu sehen ist, kann auf eine Verzeichnung zur einen oder anderen Richtung geschlossen werden.

Alle Ausführungsbeispiele erlauben die direkte Bestimmung der Verzeichnung z eines Bildpunktes mit Betrag und Richtung, unterscheiden sich aber hinsichtlich ihrer typischen Messfehler und dem Aufbau und der Einfachheit des Kalibriergegenstands.

Bei einer rein radialen Verzeichnung ist die erste Variante des Verfahrens mit drei in gerader Reihe angeordneten Markie-

rungen den beiden anderen Varianten, wo die drei Markierungen nicht in einer gerade Reihe angeordnet sind und wo die Abbildungen mit einer Triangulation ausgewertet werden hinsichtlich der Bestimmung des Betrages der Verzeichnung überlegen.

- 5 Enthält der Verzeichnungsvektor jedoch auch eine tangential Komponente, so ist ab einem bestimmten Winkel des Verzeichnungsvektors der Messfehler bei Triangulation geringer. Bei der Bestimmung des Winkels der Verzeichnung ist die Triangulation generell im Vorteil.

## Patentansprüche

1. Verfahren zum Bestimmen von Verzerrungen in einer Abbildung (6), die mit einem Abbildungssystem von einem in einem Abbildungsvolumen des Abbildungssystems angeordneten Gegenstand (2, 2\*) erzeugt werden kann, wobei ein erster Bereich des Abbildungsvolumens (8) in der Abbildung (6) unverzerrt und ein zweiter Bereich (10) des Abbildungsvolumens in der Abbildung (6) verzerrt dargestellt wird, mit den Schritten:

- Mit dem Abbildungssystem wird eine Abbildung (6) von mindestens drei Markierungen (A, B, C, C\*), die eine bekannte räumliche Lage zueinander aufweisen, erzeugt, wobei eine erste (A) und eine zweite (B) der drei Markierungen (A, B, C, C\*) in dem ersten Bereich (8) angeordnet sind und wobei eine dritte (C, C\*) der drei Markierungen (A, B, C, C\*) in dem zweiten Bereich (10) angeordnet ist,
- Bestimmen der Lage der abgebildeten Markierungen (A, B, C', C'', C''') in der Abbildung (6),
- Bestimmen einer idealen Lage der dritten Markierung (C, C\*) in der Abbildung (6) aus ihrer bekannten räumlichen Anordnung bezüglich der ersten und zweiten Markierung (A, B) und
- Bestimmen eines Lageunterschieds ( $z, \alpha$ ) der abgebildeten dritten Markierung (C, C\*) von der ihrer idealen Lage, wobei der Lageunterschied ( $z, \alpha$ ) ein Maß für die Verzerrung darstellt.

2. Verfahren nach Anspruch 1, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , d a s s ein Abbildungsmaßstab aus dem Abstand der abgebildeten ersten und zweiten Markierung (A, B) zueinander bestimmt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , d a s s die drei Markierungen (A, B, C, C\*) in gerader Reihe hintereinander angeordnet sind.

4. Verfahren nach Anspruch 1, d a d u r c h  
g e k e n n z e i c h n e t , d a s s die ideale Lage der  
dritten Markierung (C, C\*) bestimmt wird durch eine Gerade  
(12), die durch die erste und zweite abgebildete Markierung  
5 (A, B) geht, und durch den bekannten Abstand (a) der dritten  
Markierung (C, C\*) von der ersten oder zweiten Markierung (A,  
B).

5. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, d a d u r c h  
10 g e k e n n z e i c h n e t , d a s s die drei Markierun-  
gen (A, B, C, C\*) in einer Ebene angeordnet sind.

6. Verfahren nach Anspruch 5, d a d u r c h  
g e k e n n z e i c h n e t , d a s s die drei Markierun-  
15 gen (A, B, C, C\*) auf Eckpunkten eines rechtwinkligen Drei-  
ecks angeordnet sind.

7. Verfahren nach Anspruch 5 oder 6, d a d u r c h  
g e k e n n z e i c h n e t , d a s s der Lageunterschied  
20 (z,  $\alpha$ ) über eine Triangulation bestimmt wird.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , d a s s der  
erste Bereich (8) in einem mittleren Bereich der Abbildung  
25 (6) abgebildet wird.

9. Verfahren nach Anspruch 5, d a d u r c h  
g e k e n n z e i c h n e t , d a s s die abgebildeten  
Markierungen (A, B, C, C\*, C', C'', C''') in der Abbildung  
30 (6) aus ihrem Abstand zu einer Abbildungsmitte identifiziert  
werden.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , d a s s die  
35 Abbildung (6) mittels kernmagnetischer Resonanzeffekte er-  
folgt.



11. Kalibriergegenstand zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 10, mit einer Halterung (4) für drei Markierungen (A, B, C, C\*), die eine abbildbare Substanz enthalten.

5

12. Kalibriergegenstand nach Anspruch 11, da durch gekennzeichnet, dass die Halterung (4) drei zylinderförmige Volumen umfasst, die die abbildbare Substanz enthalten.

10

13. Kalibriergegenstand nach Anspruch 12, da durch gekennzeichnet, dass die zylinderförmigen Volumen gleich sind.

15

14. Kalibriergegenstand nach Anspruch 12 oder 13, da durch gekennzeichnet, dass die zylinderförmigen Volumen in einer Ebene angeordnet sind und senkrecht zu der Ebene ausgerichtet sind.

20

15. Kalibriergegenstand nach einem der Ansprüche 12 bis 14, da durch gekennzeichnet, dass die dritte Markierung (C\*) zwei in einer Ebene überkreuz angeordnete zylindrische Zusatzvolumen (20) umfasst.

25

16. Kalibriergegenstand nach Anspruch 15, da durch gekennzeichnet, dass dass ein drittes zylindrisches Volumen (22) vom Kreuzungspunkt der überkreuz angeordneten Zusatzvolumen (20) wegverlaufend angeordnet ist.

## Zusammenfassung

Verfahren zum Bestimmen von Verzerrungen in einer Abbildung und Kalibriergegenstand dazu

5

Mit dem Verfahren werden Verzerrungen in einer Abbildung (6) bestimmt, die mit einem Abbildungssystem von einem in einem Abbildungsvolumen des Abbildungssystems angeordneten Gegen-

10

stand (2, 2\*) erzeugt werden kann, wobei ein erster Bereich des Abbildungsvolumens (8) in der Abbildung (6) unverzerrt und ein zweiter Bereich (10) des Abbildungsvolumens (8) in der Abbildung (6) verzerrt dargestellt wird. Dabei wird mit dem Abbildungssystem eine Abbildung (6) von mindestens drei

15

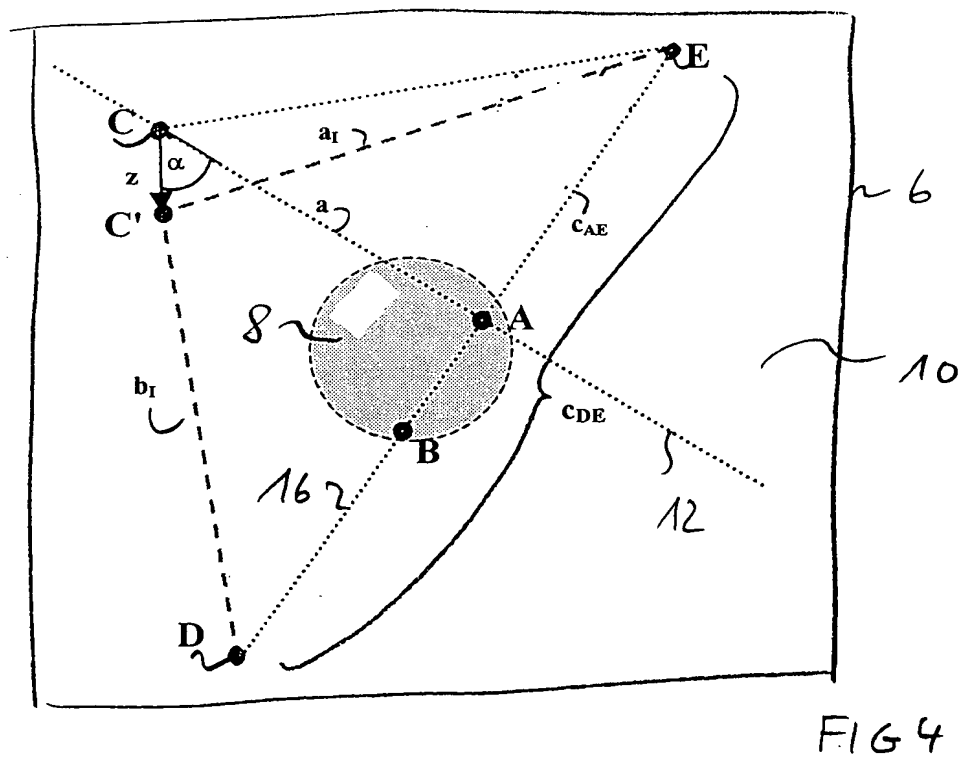
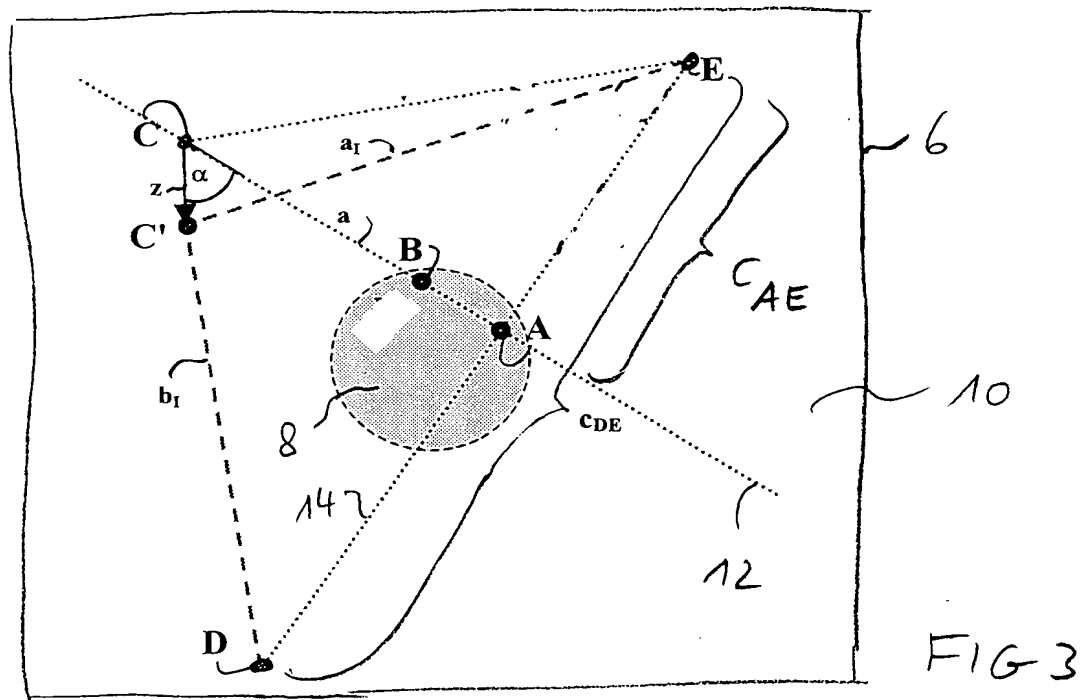
Markierungen (A,B,C,C\*) erzeugt, die eine bekannte räumliche Lage zueinander aufweisen, wobei eine erste (A) und eine zweite (B) der drei Markierungen (A,B,C,C\*) in dem ersten Bereich (8) angeordnet sind und wobei eine dritte (C,C\*) der drei Markierungen (A,B,C,C\*) in dem zweiten Bereich (10) angeordnet ist. Die Lage der abgebildeten Markierungen (A,B,C,

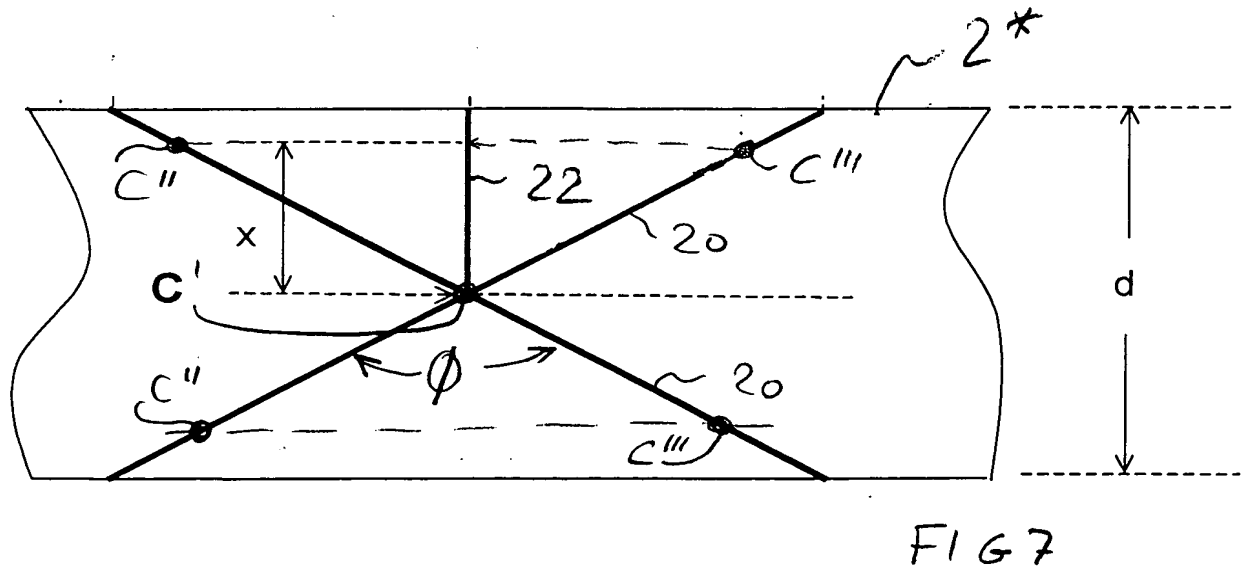
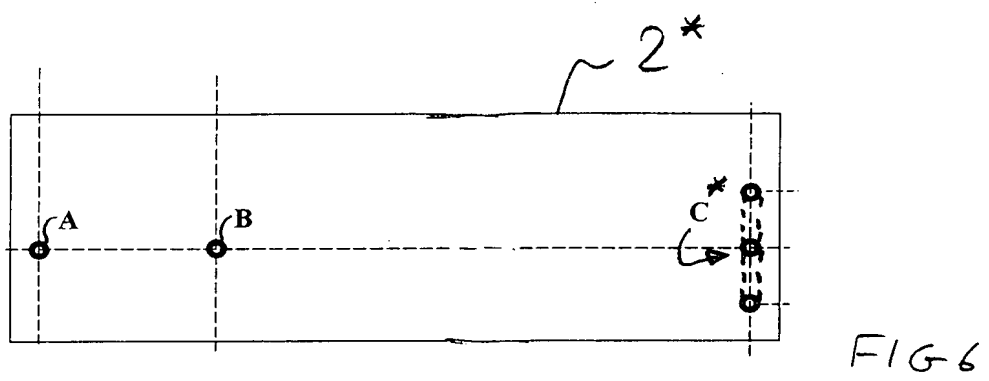
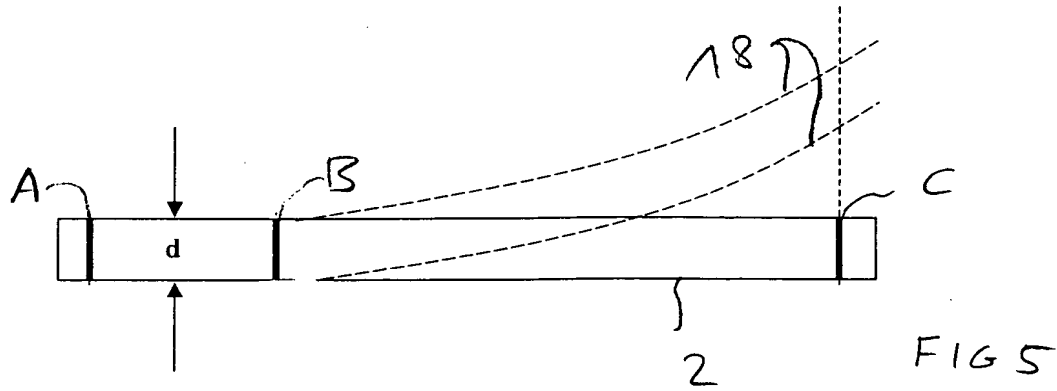
20

C',C'',C''') in der Abbildung (6) wird bestimmt. Eine ideale Lage der dritten Markierung (C,C\*) in der Abbildung (6) wird aus ihrer bekannten räumlichen Anordnung bezüglich der ersten und zweiten Markierung (A,B) bestimmt. Ein Lageunterschied ( $z, \alpha$ ) der abgebildeten dritten Markierung (C,C\*) von der ihrer idealen Lage wird bestimmt. Der Lageunterschied ( $z, \alpha$ ) stellt ein Maß für die Verzerrung dar.

25

FIG 2







Creation date: 09-15-2004  
Indexing Officer: KMAURER - KEVIN MAURER  
Team: OIPEBackFileIndexing  
Dossier: 10074655

Legal Date: 04-24-2002

No.	Doccode	Number of pages
1	IMIS	1

Total number of pages: 1

Remarks:

Order of re-scan issued on .....